

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/050287

International filing date: 24 January 2005 (24.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE

Number: 10 2004 013 251.8

Filing date: 18 March 2004 (18.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 17 February 2005 (17.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PCT/EP2005/050287

25.01.05



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 10 2004 013 251.8

Anmeldetag: 18. März 2004

Anmelder/Inhaber: Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart/DE

Bezeichnung: Ultraschall-Strömungssensor mit Wandlerarray und Reflexionsfläche

IPC: G 01 F, G 01 P, F 27 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 24. November 2004
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Brosig".

5 03.03.2004

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

Beschreibung

10

Ultraschall-Strömungssensor mit Wandlerarray und
Reflexionsfläche

Die Erfindung betrifft einen Ultraschall-Strömungssensor,
15 insbesondere zum Messen des Volumen- oder Massestroms eines
Fluids, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Ultraschall-Strömungssensoren werden insbesondere eingesetzt,
um den Volumen- oder Massestrom oder die Strömungsgeschwin-
digkeit eines gasförmigen oder flüssigen Mediums zu messen,
20 das durch eine Rohrleitung fließt. Ein typischer Ultraschall-
Strömungssensor umfasst zwei in Strömungsrichtung versetzt
angeordnete Ultraschallwandler, die Ultraschallsignale
erzeugen und diese an den jeweils anderen Ultraschallwandler
25 aussenden, der sie empfängt. Je nach Ausstrahlungsrichtung
werden die Ultraschallsignale von der Strömung entweder
beschleunigt oder verlangsamt. Die Ultraschallsignale werden
daher von den beiden Wandlern nach unterschiedlichen
Laufzeiten empfangen. Aus dem Laufzeitunterschied des
30 Ultraschallsignals in Strömungsrichtung und des
Ultraschallsignals in der Gegenrichtung kann eine
Auswerteelektronik schließlich die gewünschte Messgröße
berechnen.

35 Ein anderer Typ von Ultraschall-Strömungssensoren nutzt den
Effekt der Strahlverwehung. Dieser Typ umfasst in der Regel
zwei an einer Rohrleitung gegenüberliegend angeordnete
Wandlerarrays (Reihenanordnung mehrerer Wandler), von denen
das eine als Sendearray und das andere als Empfangsarray
40 arbeitet. Das Sendearray sendet dabei ein Ultraschallsignal
an das gegenüberliegende Empfangsarray, wo das Signal

5 detektiert wird. Fließt durch die Rohrleitung ein Fluid mit einer Strömungsgeschwindigkeit v , so werden die quer zur Strömungsrichtung ausgesendeten Schallwellen von der Strömung mitgeführt und dadurch in Strömungsrichtung abgelenkt (Strahlverwehung). Der Aufbau eines solchen Ultraschall-
10 Strömungssensors mit zwei Wandlerarrays ist relativ aufwändig und kompliziert.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Ultraschall-Strömungssensor, der nach dem Prinzip der
15 Strahlverwehung arbeitet, zu schaffen, der einfach aufgebaut ist und wesentlich kostengünstiger realisiert werden kann.

Gelöst wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung durch die im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmale. Weitere
20 Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung besteht darin, einen Ultraschall-Strömungssensor mit nur einem einzigen
25 Wandlerarray und einer gegenüberliegenden Reflexionsfläche zu realisieren, und den Strömungssensor derart zu betreiben, dass das Wandlerarray Ultraschallsignale an die gegenüberliegende Reflexionsfläche aussendet und die reflektierten Signale wieder empfängt. Das Ausmaß der Strahlverwehung ist dabei ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit des strömenden Mediums. Ein wesentlicher Vorteil dieses Strömungssensors besteht darin, dass nur ein einziges Wandlerarray erforderlich ist und ein derartiger Sensor besonders kostengünstig hergestellt werden kann.
30

Unter dem Begriff "Wandlerarray" wird hier im besonderen eine Reihenanordnung von mehreren Ultraschallwandlern verstanden, die vorzugsweise unmittelbar aneinander angrenzend angeordnet sind. Die einzelnen Wandler sind vorzugsweise fluchtend
35 angeordnet und erzeugen z.B. ebene oder zylinderförmige Ultraschallwellen. Das Wandlerarray kann aber auch derart

5 gebildet sein, dass kugelförmige, ellipsoidförmige oder auf sonstige Weise gekrümmte Wellenfronten erzeugt werden.

Das erfindungsgemäße Wandlerarray wird vorzugsweise gepulst betrieben. D.h., die einzelnen Ultraschallwandler des 10 Wandlerarrays werden pulsartig elektrisch angeregt und erzeugen ein entsprechendes Ultraschallsignal, das nach seiner Laufzeit - die im wesentlichen vom Rohrdurchmesser und der Schallgeschwindigkeit im Fluid abhängig ist - wieder von den Wählern empfangen wird.

15 Die Häufigkeit der Anregungen pro Zeit, d.h. die Anzahl der Ultraschallsignale, die gleichzeitig die Messstrecke durchlaufen, ist prinzipiell frei wählbar. Dabei ist nur zu berücksichtigen, dass herkömmliche Wandler nicht gleichzeitig 20 senden und empfangen können und somit Senden und Empfangen nicht auf einen Zeitpunkt zusammen fallen dürfen.

Der Sensor kann gemäß einer ersten Betriebsart z.B. ähnlich wie im „sing-around“ (Anmerkung: sing-around bezieht sich 25 normalerweise darauf, dass Laufzeitmessung durchgeführt wird) Verfahren betrieben werden, bei dem der Empfang eines Ultraschallsignals am Wandlerarray jeweils die Erzeugung eines neuen Ultraschallsignals auslöst. Dadurch laufen die Ultraschallsignale fortlaufend hin und her.

30 Gemäß einer zweiten Betriebsart wird die Erzeugung der Ultraschallsignale von einem Oszillator gesteuert periodisch so ausgelöst, dass immer erst nach dem Empfang eines Ultraschallsignals ein neues Ultraschallsignal gesendet wird.

35 Gemäß einer dritten Betriebsart wird das Wandlerarray derart angesteuert, dass es innerhalb einer Umlaufzeit (d.h. die Zeit, die ein Ultraschallsignal vom Wandlerarray zur 40 Reflexionsfläche und zurück benötigen würde) eine Sequenz aus mehreren Ultraschallsignalen sendet. In diesem Fall wird, noch bevor das erste der Ultraschallsignale das Wandlerarray

5 wieder erreicht hat, wenigstens ein weiteres Signal in die
Messstrecke eingekoppelt. Dadurch kann die Anzahl der
Messungen pro Zeit wesentlich erhöht und somit auch die
Messgenauigkeit gesteigert werden, wobei die Messdauer
gegenüber n Einzelmessungen wesentlich kürzer ist. Der
10 zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Ultraschallsignalen
einer Sequenz ist dabei so zu wählen, dass ein Wandler
empfangsbereit ist, d.h. nicht gerade im Sendebetrieb
arbeitet, wenn ein reflektiertes Ultraschallsignal am Wandler
eintrifft.

15

Der Ultraschall-Strömungssensor umfasst vorzugsweise eine
Sendeelektronik, mit der die einzelnen Ultraschallwandler
individuell und unabhängig voneinander angeregt werden
können. Dadurch wird es möglich, die Gangunterschiede der
20 einzelnen, von den Ultraschallwandlern ausgesendeten Signale
derart einzustellen, dass durch Interferenz eine globale
Ultraschallwelle mit vorgebbarer Wellenfront entsteht. So
kann z.B. eine im wesentlichen zylinderförmige oder
kugelförmige Wellenfront erzeugt werden, die an der
25 gegenüberliegenden Reflexionsfläche reflektiert wird und
fokussiert wieder auf das Wandlerarray trifft. Die
Reflexionsfläche kann in diesem Fall einfach ein Teil der
Rohrinnenwand sein, ohne dass eine spezielle Anpassung der
Wand erforderlich wäre.

30

Gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung werden die
einzelnen Wandler des Wandlerarrays synchron angeregt, so
dass durch Interferenz der Einzelsignale eine Welle mit
ebener Wellenfront entsteht. In diesem Fall ist die
35 Reflexionsfläche vorzugsweise derart gekrümmt, dass die ebene
Welle fokussiert wird und gebündelt auf das Wandlerarray
trifft. Um die Strömung möglichst wenig zu behindern, sollte
die Reflexionsfläche außerdem derart gestaltet sein, dass sie
der Strömung wenig Widerstand bietet und keine Turbulenzen
40 erzeugt. Die Reflexionsfläche kann zu diesem Zweck z.B. als

5 eine in der Rohrinnenwand befindliche Ausbuchtung realisiert sein.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist auf der Seite der Reflexionsfläche eine Abblendeinrichtung
10 vorgesehen, die bewirkt, dass derjenige Teil des Ultraschallsignals, der auf die Abblendeinrichtung trifft, nicht oder nur gedämpft auf das Wandlerarray zurück reflektiert wird. Die Abblendeinrichtung kann z.B. derart realisiert sein, dass das auftreffende Ultraschallsignal
15 absorbiert, gestreut oder aus dem Schallweg des Nutzsignals heraus reflektiert wird. Dadurch wird auf dem Wandlerarray ein Intensitätsmuster abgebildet, dessen Grenzen relativ scharf sind und somit gut erfasst werden kann.

20 Die Abblendeinrichtung kann z.B. ein Bereich der Innenwandfläche sein, der z.B. aufgeraut oder mit feinen Rillen versehen ist, um das Ultraschallsignal diffus zu streuen. Die Rillen sind aus strömungstechnischen Gründen vorzugsweise in Strömungsrichtung ausgerichtet.

25 Das Wandlerarray ist vorzugsweise bündig mit der Innenwand der Rohrleitung montiert. Dadurch wird die Strömung des Fluids nicht gestört und es treten insbesondere keine Turbulenzen auf.

30 Das erfindungsgemäße Wandlerarray ist darüber hinaus vorzugsweise in der oberen Hälfte einer Rohrleitung montiert. Dies hat den Vorteil, dass sich am Wandlerarray nur wenig Staub oder Schwebstoffe ansammeln können. Sofern das
35 Wandlerarray und die Reflexionsfläche seitlich gegenüberliegend an der Rohrleitung angeordnet sind, werden beide Elemente relativ wenig verschmutzt.

Der Ultraschall-Strömungssensor umfasst vorzugsweise eine
40 Sende- und Empfangselektronik, die das Wandlerarray in

5 gewünschter Weise anregt und das reflektierte
Ultraschallsignal detektiert und auswertet.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der beigefügten
Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

10 Fig. 1 eine schematische Ansicht eines Ultraschall-
Strömungssensors gemäß einer ersten Ausführungsform der
Erfindung;

15 Fig. 2 eine schematische Ansicht eines Ultraschall-
Strömungssensors gemäß einer zweiten Ausführungsform der
Erfindung; und

20 Fig. 3 eine schematische Ansicht eines Ultraschall-
Strömungssensors gemäß einer dritten Ausführungsform der
Erfindung.

Fig. 1 zeigt einen Ultraschall-Strömungssensor zum Messen des
Volumen- oder Massestroms eines Fluids 1, das durch eine
25 Rohrleitung 3 strömt. Der Strömungssensor umfasst im
wesentlichen ein Ultraschall-Wandlerarray 2 aus mehreren
einzelnen, parallel angeordneten streifenförmigen
Ultraschallwandlern 2a-2n, die jeweils Ultraschallsignale
erzeugen und diese an eine gegenüberliegende Reflexionsfläche
30 4 aussenden. Durch Interferenz der Einzelsignale entsteht
eine globale Wellenfront 7, die sich durch das strömende
Fluid 1 quer zur Strömungsrichtung ausbreitet, an der
Reflexionsfläche 4 reflektiert wird und dann wieder auf das
Wandlerarray 2 trifft. Die Lage des Bildpunktes P ist dabei
35 ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit v des Fluids 1.

In diesem Ausführungsbeispiel werden die einzelnen
Ultraschallwandler 2a-2n des Wandlerarrays 2 separat
angesteuert, so dass aufgrund der Gangunterschiede der
40 Einzelsignale eine in Strahlungsrichtung konkav gekrümmte,
etwa zylinderförmige Wellenfront 7 entsteht, deren

5 Randbereiche 8 zuerst auf die Reflexionsfläche 4 treffen. Die Welle 7 wird dadurch fokussiert und trifft im wesentlichen linienförmig an einem Punkt P auf das Wandlerarray 2. Je nach Strömungsgeschwindigkeit v wandert der Bildpunkt P mehr oder weniger stark in Strömungsrichtung 12 (Effekt der
10 Strahlverwehung). Der Strahlverlauf bei höherer Strömungsgeschwindigkeit v ist durch gestrichelte Linien und einen Bildpunkt P' gekennzeichnet.

Fig. 1 zeigt rechts oben die Intensitätsverteilung 10 bzw. 10' eines empfangenen Ultraschallsignals 9 bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten v. Bei geringer Strömungsgeschwindigkeit (bzw. ohne Strömung) ergibt sich am Wandlerarray 2 eine Intensitätsverteilung 10, deren Maximum etwa in der Mitte des Wandlerarrays 2 liegt. Bei hoher Strömungsgeschwindigkeit verschiebt sich dieses Maximum näher an den Rand des Wandlerarrays 2. Die zugehörige Intensitätsverteilung der Schallintensität ist hier mit dem Bezugszeichen 10' gekennzeichnet. Eine Empfangselektronik 6 wertet das an den Ultraschallwendlern 2a-2n detektierte 25 Ultraschallsignal aus und berechnet daraus die gewünschte Messgröße.

Die Reflexionsfläche 4 ist in diesem Ausführungsbeispiel lediglich ein dem Wandlerarray 2 gegenüberliegender Abschnitt der Rohrinnenwand. Zur Verbesserung der Reflexionseigenschaften könnte die Rohrinnenwand im Bereich der Reflexionsfläche 4 z.B. poliert oder mit einer speziellen Reflexionsschicht versehen werden.

Das Wandlerarray 2 ist hier oben auf der Rohrleitung 3 angebracht, um zu verhindern, dass sich Staub oder Schwebstoffe am Wandlerarray ansammeln. Alternativ könnte das Wandlerarray 2 auch seitlich an der Rohrleitung 3 montiert werden, so dass der reflektierende Wandbereich ebenfalls seitlich an der Rohrleitung 3 liegen und folglich weniger verschmutzen würde.
35
40

- 5 Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer anderen Ausführungsform eines Ultraschall-Strömungssensors mit einem einzelnen Wandlerarray 2 und einer gegenüberliegenden Reflexionsfläche 4. Die Sende- und Auswerteschaltungen 5 bzw. 6 sind aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen. Gleiche
10 Bestandteile sind mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet. Bei diesem Ausführungsbeispiel werden die einzelnen Ultraschallwandler 2a-2n des Wandlerarrays 2 derart angesteuert, dass durch Interferenz der Einzelsignale eine ebene Wellenfront 7 entsteht, die in Richtung der
15 Reflexionsfläche 4 läuft. Die Reflexionsfläche 4 ist derart gekrümmmt, dass das Ultraschallsignal 7 fokussiert wird und etwa linienförmig oder punktförmig auf das Wandlerarray 2 trifft. Eine exakt punktförmige Fokussierung ist nicht zwingend notwendig.
- 20 Im Ausführungsbeispiel von Fig. 2 ist die Reflexionsfläche 4 als eine Ausbuchtung in der Rohrwand des Rohres 3 gebildet, um die Strömung des Fluids 1 nicht zu behindern und insbesondere möglichst geringe Turbulenzen hervorzurufen.
- 25 Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform eines Ultraschall-Strömungssensors mit einem einzigen Wandlerarray 2 und einer gegenüberliegenden Reflexionsfläche 4. Die Ausdehnung der Reflexionsfläche 4 ist in diesem Ausführungsbeispiel kleiner als die Länge des Wandlerarrays 2. Angrenzend an die
30 Reflexionsfläche 4 ist eine Abblendeinrichtung 11 vorgesehen, die das auftreffende Schallsignal dämpft bzw. filtert. D.h. der auf die Abblendeinrichtung 11 auftreffende Teil eines Ultraschallsignals 7 wird nicht oder nur gedämpft auf das Wandlerarray 2 zurück reflektiert. Die Abblendeinrichtung 11 kann z.B. als Wandbereich mit besonderer rauher Oberfläche oder z.B. als ein mit Rillen versehener Bereich der Rohrinnenwand realisiert sein.
- 35 Am Wandlerarray 2 ergibt sich somit ein Muster mit hoher Schallintensität durch den an der Reflexionsfläche 4

- 5 reflektierten Teil des Signals 7 und mit niedriger Schallintensität durch den an der Abblendeinrichtung 11 gedämpften Teil des Signals 7. Die Grenzen dieses Musters verschieben sich wiederum in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit v des Fluids 1. Aus der Position des
10 Musters kann wiederum die gewünschte Messgröße ermittelt werden.

5 03.03.2004

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

Bezugszeichenliste

10

- 1 Fluid
- 2 Wandlerarray
- 2a-2n Ultraschallwandler
- 3 Rohrleitung
- 15 4 Reflexionsfläche
- 5 Sendeelektronik
- 6 Empfangselektronik
- 7 gesendete Welle
- 8 Wellengrenzen
- 20 9 reflektierte Welle
- 10,10' Intensitätsverteilung
- 10 Abblendeinrichtung
- 11 Strömungsrichtung
- P, P' Bildpunkt

25

5 03.03.2004

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

Patentansprüche

10

1. Ultraschall-Strömungssensor, insbesondere zum Messen des Volumen- oder Massestroms eines Fluids (1), das in einer Rohrleitung (3) strömt, mit wenigstens einem Ultraschallwandler (2a-2n) zum Aussenden und Empfangen von

15 Ultraschallsignalen (7,9), gekennzeichnet durch
- ein Array (2) aus mehreren Ultraschallwandlern (2a-2n),
das an der Rohrleitung (3) angeordnet ist und
Ultraschallsignale (7) aussendet, die durch das Fluid (1)
laufen,

20 - eine dem Array (2) gegenüberliegende Reflexionsfläche (4),
und
- eine Empfangselektronik (6), die ein an der
Reflexionsfläche (4) reflektiertes und am Array (2)
empfangenes Ultraschallsignal (9) detektiert und
25 auswertet.

30 2. Ultraschall-Strömungssensor nach Anspruch 1, dadurch
gekennzeichnet, dass das Wandlerarray (2) gepulst betrieben
wird.

35 3. Ultraschall-Strömungssensor nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass eine Sendeelektronik (5)
vorgesehen ist, mit der die einzelnen Ultraschallwandler (2a-
2n) individuell und unabhängig voneinander angesteuert werden
können.

40 4. Ultraschall-Strömungssensor nach Anspruch 3, dadurch
gekennzeichnet, dass die einzelnen Ultraschallwandler (2a-2n)
derart betrieben werden, dass eine Ultraschallwelle (7) mit
einer im wesentlichen zylinderförmigen, kugelförmigen,

- 5 ellipsoidförmigen oder sonstig gekrümmten Wellenfront erzeugt wird.
5. Ultraschall-Strömungssensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen
- 10 Ultraschallwandler (2a-2n) derart betrieben werden, dass eine Ultraschallwelle mit einer im wesentlichen ebenen Wellenfront erzeugt wird.
- 15 6. Ultraschall-Strömungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Wandlerarray bündig mit der Innenwand der Rohrleitung (3) montiert ist.
7. Ultraschall-Strömungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Wandlerarray in 20 der oberen Hälfte oder seitlich an der Rohrleitung (3) montiert ist.
- 25 8. Ultraschall-Strömungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionsfläche (4) ein Teil der Rohrinnenwand ist, wobei die Gestalt der Reflexionsfläche gegenüber anderen Rohrabschnitten nicht modifiziert ist.
- 30 9. Ultraschall-Strömungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionsfläche (4) an einer Ausbuchtung der Rohrinnenwand vorgesehen ist.
- 35 10. Ultraschall-Strömungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Abblendvorrichtung (11) nahe der Reflexionsfläche (4) vorgesehen ist.
- 40 11. Ultraschall-Strömungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Wandler (2a-2n) des Wandlerarrays (2) derart angesteuert werden, dass die an

- 5 der Reflexionsfläche (4) reflektierte Welle (9) im wesentlichen punktförmig oder linienförmig auf das Wandlerarray (2) auftrifft.

5 03.03.2004

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

Zusammenfassung

10

Ultraschall-Strömungssensor mit Wandlerarray und
Reflexionsfläche

Die Erfindung betrifft einen Ultraschall-Strömungssensor,
15 insbesondere zum Messen des Volumen- oder Massestroms eines
Fluids (1) in einer Rohrleitung (3), mit wenigstens einem
Ultraschallwandler (2a-2n), der in der Lage ist,
Ultraschallsignale (7) auszusenden und zu empfangen. Ein
besonders einfach aufgebauter und kostengünstiger
20 Ultraschall-Strömungssensor, der nach dem Prinzip der
Strahlverwehung arbeitet, umfasst ein Array (2) aus mehreren
Ultraschallwandlern (2a-2n), das an einer Seite der
Rohrleitung (3) angeordnet ist, und eine dem Array (2)
gegenüberliegende Reflexionsfläche (4), an der die
25 ausgesendeten Ultraschallsignale (7) reflektiert werden, und
eine Empfangselektronik (6), die das von den Ultraschall-
wandlern (2a-2n) empfangene Ultraschallsignal (9) auswertet.

Fig. 1

1 / 2

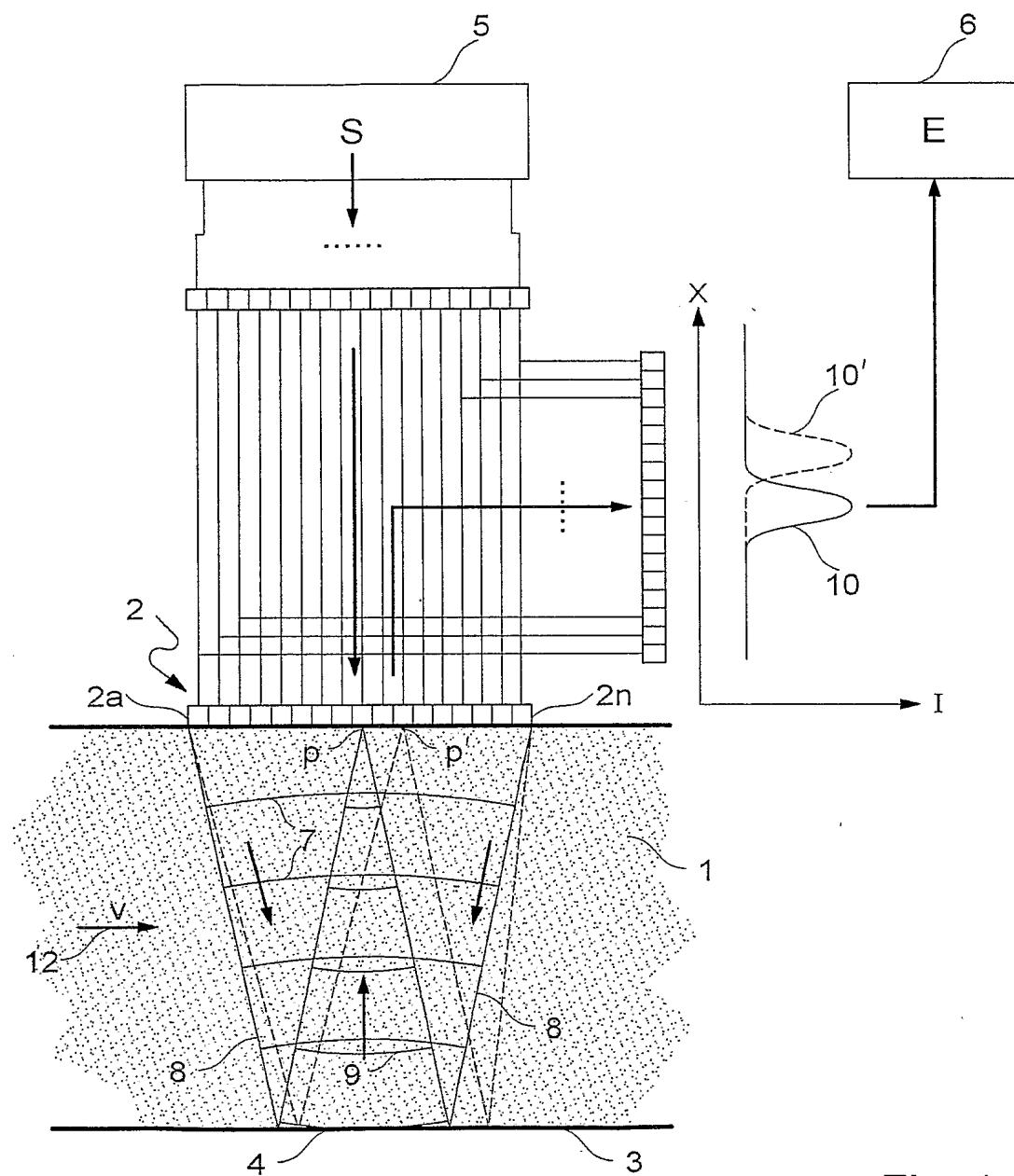


Fig. 1

2 / 2

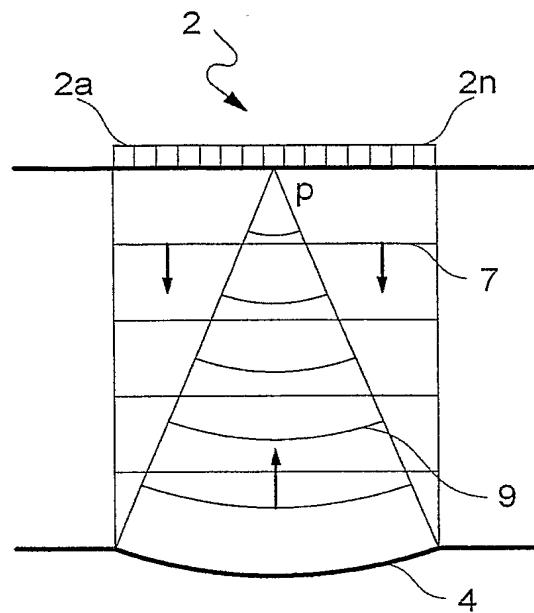


Fig. 2

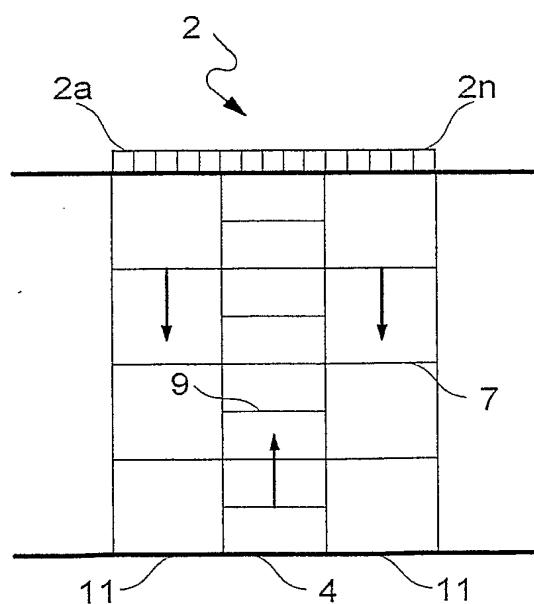


Fig. 3